

WO 03/098341 A1



2文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

## 光伝送媒体

## 5 技術分野

この発明は、光通信分野に用いて好適な光伝送媒体に関する。

## 背景技術

近年、カーボンナノチューブを利用した新たな材料開発が盛んに行われて  
10 いる。

特に、カーボンナノチューブが有する光学的非線形特性は、今後、新たな機能材料を開発するに当たりその適用が期待される特性の一つである。

従来、信号光を中継する光増幅器の誤動作や、光伝送媒体を伝播する信号光の偶発的な偏り等が発生すると、異常に強い強度を持つ光が光伝送媒体中に  
15 発生することが知られている。

このような現象が光伝送媒体中で発生すると、この異常に強い強度を持つ光によって、この光伝送媒体と結合されている通信デバイスが破壊されてしまい、その結果、正常な光伝送を継続できないという問題があった。

そこで、この出願に係る発明者は、鋭意検討を行ったところ、カーボンナノチューブの光学的非線形特性を光学分野、特に、光通信分野に適用させること  
20 により、カーボンナノチューブを含有した光伝送媒体に種々の独特な機能を発揮させることが出来ることを見出した。

その機能の一つとして、カーボンナノチューブを非線形光伝送媒体に含有させて得られる光伝送媒体を光非相反回路（例えば、光サーキュレータ）と組み  
25 み合わせて用いることにより、この光伝送媒体が異常に強い強度を持つ光の透過を遮断する一方で、正常な光強度を持つ信号光を透過させる光ヒューズ（光ブレーカ）として機能させることが出来ることを発見した。

また、カーボンナノチューブ及びこのカーボンナノチューブを含有する非

線形光伝送媒体がもつ分散特性の差異を利用することにより、この非線形光伝送媒体にカーボンナノチューブを含有させて得られる光伝送媒体を分散補償素子として機能させることが出来ることを発見した。

そこで、この発明の第1の目的は、カーボンナノチューブを非線形光伝送媒体に含有させて得られる光伝送媒体を提供することにある。

また、この発明の第2の目的は、カーボンナノチューブを非線形光伝送媒体に含有させて得られる光伝送媒体を用いて構成した光ヒューズを提供することにある。

また、この発明の第3の目的は、カーボンナノチューブを非線形光伝送媒体に含有させて得られる光伝送媒体を用いた分散補償素子を提供することにある。

#### 発明の開示

この発明の光伝送媒体は、光学的非線形特性を有する光伝送媒体中に光学的非線形特性を有するカーボンナノチューブを含有している。

このような構成とすることにより、光伝送媒体がもつ光学的非線形特性が顕著になる。例えば、非線形光伝送媒体の特性である非線形屈折率特性が、光学的非線形特性を有するカーボンナノチューブの非線形屈折率特性と相俟ってより一層顕著になり、その結果、この光伝送媒体の光学的非線形特性を高め、高非線形屈折率特性を付与することができる。

また、好ましくは、非線形光伝送媒体は単一モード光ファイバであるのが良い。

光通信の光伝送路として用いられる光ファイバが単一モード光ファイバであることから、非線形光伝送媒体を単一モード光ファイバとすることで、光通信の光伝送路を構成する光ファイバとの整合性を確保できるという利点がある。仮に非線形光伝送媒体が多モード光ファイバであれば、光通信の光伝送路として用いられる光ファイバとの接続は容易でない上、非線形光伝送媒体を光通信の光伝送路の一部に組み込むことは事実上不可能である。

また、好ましくは、非線形光伝送媒体の融点は、1200℃以下であるのが良い。

このようにすると、非線形光伝送媒体を熔融する際、この熔融温度を1200℃以下とすることができるので、1200℃程度の加熱でその組成やその  
5 機能が破壊される可能性のあるカーボンナノチューブを、この非線形光伝送媒体中に含有させて形成する工程を懸念なく実施することができる。

また、好ましくは、光ファイバのコア部を、酸化ビスマス、酸化ビスマスが含有された合成樹脂、酸化ビスマスが含有されたガラス系成分及び酸化ビスマスが含有されたフッ化物系成分の材料のうちのいずれかで構成するのが良い。

10 また、好ましくは、光伝送媒体を光ヒューズとするのが良い。

このようにすると、光伝送媒体が異常に強い強度を有する光の透過を遮断する一方で、正常な光強度を有する信号光を透過させる光ヒューズ（光ブレーカ）として機能させることが出来る。

また、好ましくは、光伝送媒体を分散補償素子とするのが良い。

15 このようにすることで、高速でかつ伝送距離が長い光通信において、伝送路の分散に起因する光信号パルス形状の変化による、通信エラー等の発生を防ぐことができる。

また、好ましくは、カーボンナノチューブは有機溶媒に対して可溶性を有するのが良い。

20 このようにすると、不溶性のカーボンナノチューブを用いて光ファイバを作製した場合に比べて、光伝送媒体中における不所望な散乱光の発生を抑制できる。

#### 図面の簡単な説明

25 図1及び図2は、この発明の実施の形態の説明に供する図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、図を参照して、この発明の実施の形態につき説明する。尚、各図は、

この発明が理解できる程度に各構成成分の大きさ、形状及び配置関係を概略的に示してあるに過ぎない。従って、この発明は、図示例のみに限定されるものではない。

#### (1) カーボンナノチューブの作製

- 5       この実施の形態では、炭素原子 (C) の六員環構造によって形成された 1 枚のグラフェン(graphen)がチューブ構造となっている、単層カーボンナノチューブ (SWNT:Single-Wall carbon NanoTube、以下、SWNTと称する。)を用いる。尚、カーボンナノチューブはSWNTに限定されるものではなく、多層構造のグラフェンがチューブ構造となっている多層カーボンナノチューブ
- 10   (MWNT:Multi-Wall carbon NanoTube、以下、MWNTと称する。)であつてもこの発明を適宜適用できる。

##### (1-1) 一般的なカーボンナノチューブの作製

- 一般的なSWNTを作製するに当たり、周知の通り、レーザ蒸発法やアーク放電法等の方法を任意好適に利用できるが、ここでは、レーザ蒸発法による
- 15   SWNTの作製方法の一例を以下に簡単に述べる。

先ず、遷移金属元素、例えば、コバルト (Co) 及びニッケル (Ni) を、それぞれ数原子% (例えば、各々 0.6 原子%とする。) 含有する (金属/炭素) コンポジット棒を作製する。

- 続いて、このコンポジット棒を電気炉中で約 1200℃の温度で加熱した後、500 Torr の減圧下でアルゴン (Ar) ガスを 50 sccm で導入しながら、ネオジウム (Nd) ・ヤグ (YAG) パルスレーザ (10 Hz) 等で瞬時に炭素と触媒金属とを蒸発させてSWNTを作製する。尚、こうして得られるSWNTには副生成物等の不純物が混入している場合があるので、水熱法、遠心分離法及び限外濾過法等によってSWNTを精製するのが好ましい。
- 20

##### 25   (1-2) 可溶性カーボンナノチューブの作製

(1-1) で得られたSWNTは不溶性であるが、以下に述べる過程を更に経ることにより、例えば、有機溶媒に対して可溶性 (soluble) を呈する可溶性SWNT (S-SWNT) を作製することができる。

まず、(1-1)で得られたSWNTを、例えば、酸化性の濃硫酸（純度98%）及び濃硝酸（純度70%）を3:1の割合で混合した混合溶液中で超音波処理することにより、当該超音波処理前の平均長が280nm程度であったSWNTを平均長150nm程度にまで切断処理する。

- 5 続いて、この切断処理により両端が開管されたSWNT（長さ100～300nm程度）の両端に対して、例えば、塩化チオニル（ $\text{SOCl}_2$ ）及びオクタデシルアミン（ODA： $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{NH}_2$ ）による化学修飾を行い、S-SWNTである $\text{SWNT}-\text{CONH}(\text{CH}_2)_{17}\text{CH}_3$ を作製する。尚、このS-SWNTを作製する反応における中間体の $\text{SWNT}-\text{COCl}$ に、4-ドデシルアニリン（ $4-\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_2$ ）を反応させることにより、有機溶媒に対して更に高い溶解度を有するS-SWNTである $\text{SWNT}-\text{CONH}-4-\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_2)_{13}\text{CH}_3$ を作製することも可能である。また、S-SWNTの作製方法は上述のみに限定されず、設計や目的に応じて好適なS-SWNTを作製するものとする。

15 (2) カーボンナノチューブの光学的非線形特性の検証

- まず、(1)で精製されたカーボンナノチューブ（SWNT及びS-SWNTのいずれか一方または双方）が成膜されている薄膜（単に、SWNT薄膜と称する。）を作製する。SWNT薄膜の作製には、SWNTを分散媒に分散させて得られた分散液を透明な光学材料、すなわち、ガラス基板等の透明性の被塗布物上にスプレー塗布することにより得られる。

そして、このSWNT薄膜に所定の強度を有する光を照射していったところ、SWNT薄膜の屈折率変化が入射光強度に対して比例することから、カーボンナノチューブの屈折率は光強度に対する非線形特性を有する材料であることが確認された。

25 (3) 非線形光伝送媒体にカーボンナノチューブを含有させて構成される光伝送媒体の作製

この実施の形態では、非線形光伝送媒体にカーボンナノチューブを含有させて光伝送媒体を作製するに当たり、非線形光伝送媒体としてコア部に酸化ビ

スマス ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) を含有するビスマス光ファイバを用いた例につき説明する。

より詳細には、光ファイバのコア部の主成分となる酸化ビスマスに、カーボンナノチューブを適量添加させることにより光伝送媒体を作製する。

光伝送媒体である光ファイバを作製するに当たり、周知の通り、二重るつぼ法やMCVD (Modified CVD 法) やVAD (vapour-phase axial deposition) 等の方法を任意好適に利用できるが、ここでは、二重るつぼ法による光ファイバの作製方法の一例を以下に簡単に述べる。

まず、白金製の二重るつぼの内側の容器に、コア部用材料である酸化ビスマス及び少量のガラス系成分を入れる。また、二重るつぼの外側の容器に、クラッド用材料としてコア部よりも屈折率が低くなるように配合を調整した酸化ビスマス及び少量のガラス系成分を入れる。

そして、これら材料を溶融させるとともに、更に、内側の容器には、(1) に説明した方法によって精製される、例えば、直径が概ね  $1.0 \text{ nm}$  から  $1.5 \text{ nm}$  の範囲内の値であるカーボンナノチューブ (SWNT 及び S-SWNT のいずれか一方または双方) を所定量添加して攪拌する。その後、通常の方法によって線引き工程を行うことにより光ファイバを作製する。尚、ビスマスに添加するカーボンナノチューブ量や詳細な光ファイバの製造方法については、目的や設計に応じて任意好適に決定するものとする。

こうして得られるビスマス光ファイバは、コア部のビスマスが有する非線形屈折率特性にカーボンナノチューブが有する非線形屈折率特性が更に付与されるため、高非線形屈折率特性を有する。

また、特に、S-SWNT を添加して光ファイバを作製すれば、有機溶媒に対して不溶性の SWNT のみで光ファイバを作製した場合に比べ、不所望な散乱光の発生を抑制することができ好適である。

尚、カーボンナノチューブを含有するコア部形成用の光ファイバ材料を選択するに当たり、好ましくは融点が  $1200^\circ\text{C}$  以下のものとするのが良い。この理由は、光ファイバを形成する際に、光ファイバ材料はその融点以上に加熱されるので、この加熱によってカーボンナノチューブの組成やその機能が破壊

されることが懸念されるからである。

酸化ビスマスの融点（約 824℃）は、カーボンナノチューブの組成やその機能が破壊されることが懸念される 1200℃程度の温度に比べて低いうえに、酸化ビスマスの非線形屈折率が、合成樹脂等の他のコア部用光ファイバ材料の非線形屈折率に比べて高い。したがって、酸化ビスマスは、カーボンナノチューブと組み合わせて好適な光ファイバ材料といえる。

しかしながら、カーボンナノチューブを含有させる非線形光伝送媒体材料は酸化ビスマスに限定されない。すなわち融点が 1200℃より低く、光ファイバ形成時に溶融するための加熱処理によってカーボンナノチューブの組成やその機能が破壊されることがなく、かつ十分な非線形屈折率を有する材料であれば、合成樹脂（プラスチック）、ガラス系材料及びフッ化物系材料であっても、これらの材料にカーボンナノチューブを含有させて構成しても良い。

（４）非線形光伝送媒体にカーボンナノチューブを含有させて構成される光伝送媒体の構成例

#### 15      （４－ａ）光ヒューズ（ブレーカ）

図 1 に、この発明に係る、非線形光伝送媒体にカーボンナノチューブを含有させて構成される光伝送媒体（以下、SWNT 含有光伝送媒体と称する場合もある。）を光ヒューズとして用いた場合の構成例を概略的に示す。

具体的には、（３）に説明した方法によって作製された SWNT 含有光伝送媒体 12 を、図 1 に示すように、一般的な光伝送媒体 14 a 及び 14 b（ここでは、共に一般的な酸化ビスマス光ファイバとする。）間に介在されている。また、SWNT 含有光伝送媒体 12 の前段に（ここでは、光伝送媒体 14 a と SWNT 含有光伝送媒体 12 との間とする。）、例えば、光サーキュレータ 16 が配置されている。そして、この光サーキュレータ 16 には、この光サーキュレータ 16 から出力される光を導波する、一般的な光伝送媒体 14 c が接続されている。

そして、外部から光伝送媒体 14 a を介して入射される信号光 A は、SWNT 含有光伝送媒体 12 を経た後光伝送媒体 14 b から出射される構成である。



光サーキュレータ 1 6 は、光伝送媒体 1 4 a から SWNT 含有光伝送媒体 1 2 の方向に向かって進む信号光 A を、図 1 に示すように、光伝送媒体 1 4 a から SWNT 含有光伝送媒体 1 2 の方向に向けて導波する機能を有している。一方、SWNT 含有光伝送媒体 1 2 から光伝送媒体 1 4 a の方向に向かって進む光 B に対しては、図 1 に示すように、光伝送媒体 1 4 c の方向に向けて導波する機能を有している。

そして、この SWNT 含有光伝送媒体 1 2 の光ヒューズとしての動作の概略は、以下の通りである。

10 先ず、光伝送媒体 1 4 a に入射された信号光 A は、光サーキュレータ 1 6 を経て SWNT 含有光伝送媒体 1 2 に入射される。

このとき、(3) で既に説明したように、SWNT 含有光伝送媒体 1 2 では、当該 SWNT 含有光伝送媒体 1 2 が有する高非線形屈折率特性に起因して、以下に述べるような現象が起こる。

すなわち、SWNT 含有光伝送媒体 1 2 に光伝送媒体 1 4 a 側から入射された信号光 (入射光) A と、この信号光 A が SWNT 含有光伝送媒体 1 2 と光伝送媒体 1 4 b との境界で反射された光 (反射光) とが、干渉することによって定在波が形成される。

その結果、この定在波に対応する光強度分布の発生によって、SWNT 含有光伝送媒体 1 2 の長手方向には周期的な屈折率分布、すなわち、回折格子が形成される。この回折格子の屈折率変調度 (高屈折率部分と低屈折率部分との屈折率の差) は、この SWNT 含有光伝送媒体 1 2 への入射光強度に依存し、その入射光強度が強いほどこの屈折率変調度は大きくなる。

すなわち、信号光 A の光強度が異常に高くなった場合は、上述の回折格子の屈折率変調度が大きくなるので、この異常強度光に対するこの回折格子からの反射率は大きくなる。

このことから、この異常強度光は、SWNT 含有光伝送媒体 1 2 の部分に形成される回折格子によって、ほぼ 1 0 0 % 反射されて、SWNT 含有光伝送媒体 1 2 を透過することができない。

そして、このSWNT含有光伝送媒体12を透過できなかった異常強度光は、信号光Aとは逆進する光（逆進光B）となって光サーキュレータ16を介して光伝送媒体14cに送出された後、この系外に排出することができる。

しかしながら、通常の光強度を有する信号光Aに対しては、SWNT含有  
5 光伝送媒体12において非線形光学効果が顕著には現れないため、SWNT含有光伝送媒体12を透過することができる。

このように、非線形光伝送媒体にカーボンナノチューブを含有させて構成される光伝送媒体12を、正常な信号光Aは透過させる一方で、不所望に発生した異常強度光の透過は遮断する、光ヒューズ（ブレーカ）として用いること  
10 ができる。

#### （4-b）分散補償素子

図2を参照して、カーボンナノチューブ及び一般的な光伝送媒体（ここでは、光ファイバとする。）の分散特性の一例につき説明する。同図において、縦軸は分散（単位は、 $\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ である。）であり、横軸は波長（単位  
15 は $\text{nm}$ である。）を示している。分散の絶対値は、光ファイバの長さやカーボンナノチューブの含有量等に比例するので、縦軸には分散の絶対値そのものの値は表示していないが、縦軸の目盛りは分散の絶対値に比例する任意スケールで目盛ってある。一方、横軸は、波長 $1300\text{nm}$ から波長 $1700\text{nm}$ の範囲を示している。

20 図2において、曲線Aはある直径値のカーボンナノチューブの分散特性を示しており、及び曲線Bは一般的な光ファイバの分散特性を示している。

そこで、この出願に係る発明者は、鋭意研究を行った結果、（1）に説明した方法によって精製されるカーボンナノチューブ（SWNT及びS-SWNT）の分散特性（曲線A）が、カーボンナノチューブの直径に依存して曲線  
25 A'や曲線A''等にシフトすることを確認している。

また、光通信において、伝送速度が高くなるほど、あるいは、伝送距離が長くなるほど、光ファイバの分散は小さいことが好ましい。したがって光通信に用いる光ファイバを作製する際には、広い波長域で分散がゼロ（屈折率が波

長に依存しない状態) になるように設計するのが望ましい。

そこで、曲線Bで与えられる屈折率特性を発現するような光ファイバ材料に、例えば、曲線Aで与えられる屈折率特性を発現するような所定直径を有するカーボンナノチューブを添加すれば、光ファイバの分散特性とカーボンナノ

5 チューブの分散特性とが相殺されるという状態を作り出すことができる。すなわち波長領域aにおいて、波長領域aにおけるカーボンナノチューブを含有する光伝送媒体の分散特性(曲線Cで与えられる。)を、分散値が波長に依存しないという、いわゆるフラット状態を実現できる。

その結果、非線形光伝送媒体に添加するカーボンナノチューブの直径を目的や設計に応じて変更して光伝送媒体を作製することにより、この光伝送媒体を、当該光伝送媒体を伝播する信号光の波長分散を補償する分散補償素子(ファイバ)として利用することができる。つまり、カーボンナノチューブの分散特性を利用することにより、波長分散の制御(コントロール)を図ることができる。

15 また、この場合のカーボンナノチューブの直径は、概ね1.0nmから1.5nmの範囲内の値とするのが好ましい。なぜなら、この範囲内の直径を有するカーボンナノチューブの分散特性が、概ね1100nmから1800nmの範囲内の波長の光に対して、図2で示した分散特性を示すからである。よって、例えば、現在広く利用されている光ファイバの分散特性が波長1550nm付

20 近を頂点として下側に凸状であるのに対し、このカーボンナノチューブの分散特性はこれと反転した形状であるため、カーボンナノチューブの直径を調整して吸収波長を制御(シフト)することにより当該光ファイバを広範囲で分散値をゼロとすることができ有効である。

以上、この発明の実施の形態における条件等は、上述の組合せのみに限定

25 されない。よって、任意好適な段階において好適な条件を組み合わせ、この発明を適用することができる。

上述した説明から明らかなように、この発明によれば、非線形光伝送媒体中にカーボンナノチューブを含有させて得られた光伝送媒体の非線形特性が従来の光伝送媒体より顕著に現れるため、非線形光伝送媒体中にカーボンナノチューブを含有させて得られた光伝送媒体を光通信分野等に適用させて種々の独

5 特な機能を付与させることができる。

例えば、カーボンナノチューブを光通信分野に適用させて得られる新たな機能材料の一つに、高非線形屈折率特性を有する光伝送媒体があるが、この光伝送媒体を光通信の光伝送路の一部に組み込むことにより光ヒューズとして用いることができる。

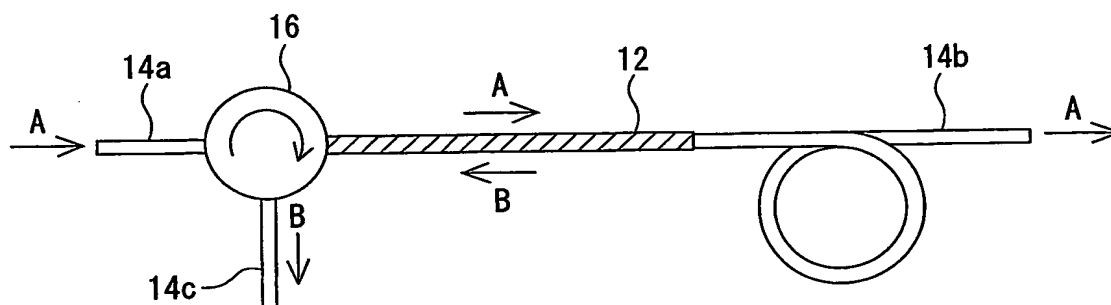
10 また、所定直径を有するカーボンナノチューブを含有させて構成した光伝送媒体を、信号光の波長分散を補償する分散補償素子（ファイバ）として用いることができる。

## 請 求 の 範 囲

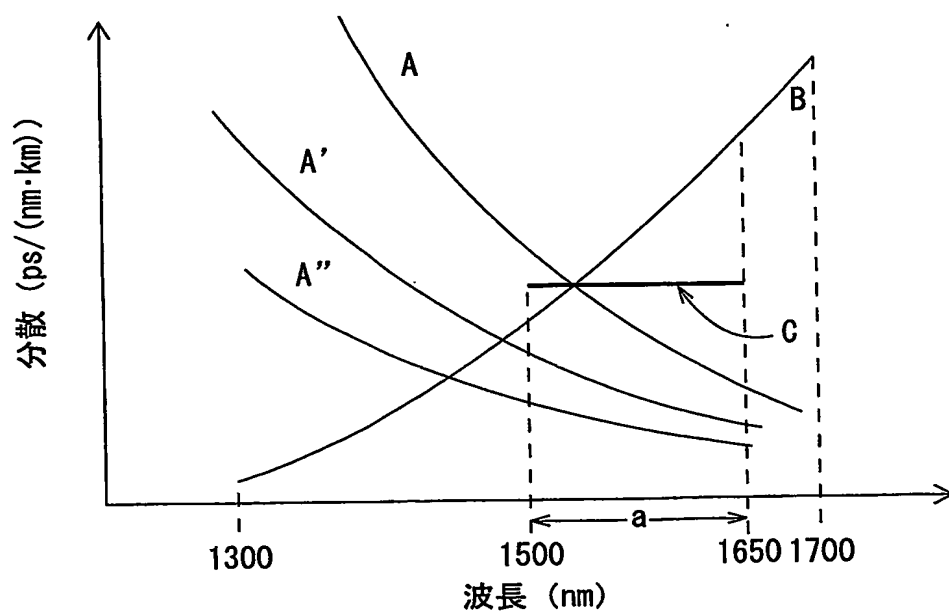
1. 非線形光伝送媒体に光学的非線形特性を有するカーボンナノチューブが含有されていることを特徴とする光伝送媒体。
- 5      2. 請求項 1 に記載の光伝送媒体において、前記非線形光伝送媒体は単一モード光ファイバであることを特徴とする光伝送媒体。
3. 請求項 2 に記載の光伝送媒体において、前記光ファイバのコア部は、酸化ビスマス、酸化ビスマスが含有された合成樹脂、酸化ビスマスが含有されたガラス系成分及び酸化ビスマスが含有されたフッ化物系成分の材料のうちの
- 10    いずれかで構成されていることを特徴とする光伝送媒体。
4. 請求項 1 ないし 3 のいずれか一項に記載の光伝送媒体において、前記非線形光伝送媒体の融点は、1200℃以下であることを特徴とする光伝送媒体。
5. 請求項 1 ないし 4 のいずれか一項に記載の光伝送媒体において、前
- 15    記光伝送媒体は光ヒューズであることを特徴とする光伝送媒体。
6. 請求項 1 ないし 5 のいずれか一項に記載の光伝送媒体において、前記光伝送媒体は分散補償素子であることを特徴とする光伝送媒体。
7. 請求項 1 ないし 6 のいずれか一項に記載の光伝送媒体において、前記カーボンナノチューブは有機溶媒に対して可溶性を有することを特徴とする
- 20    光伝送媒体。

1/1

【図 1】



【図 2】



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05973

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/35

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/35

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
JICST, USPTO Web Patent Database

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Wang, S. et al., Large and ultrafast third-order optical non-linearity of single-wall carbon nanotubes at 820 nm, Chemical Physics Letters, Vol.320, No.5/6, April 2000, pages 411 to 414	1-7
A	Sun, Y.-P. et al., Nanomaterials as Optical Limiters, Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials, Vol.9, No.4, December, 2000, pages 481 to 503	5-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier document but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
10 June, 2003 (10.06.03)

Date of mailing of the international search report  
24 June, 2003 (24.06.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02F1/35

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02F1/35

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公案 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JICST

USPTO Web Patent Database

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	Wang, S. et al. Large and ultrafast third-order optical non-linearity of single-wall carbon nanotubes at 820 nm, Chemical Physics Letters, Vol. 320, No. 5/6, April 2000, p. 411-414	1-7
A	Sun, Y.-P. et al. Nanomaterials as Optical Limiters, Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials, Vol. 9, No. 4, December 2000, p. 481-503	5-7

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10.06.03

国際調査報告の発送日

24.06.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

佐藤 宙子



2X

9316

電話番号 03-3581-1101 内線 3293